

도심지 방음벽을 통과하는 철도소음의 전달특성에 관한 실험적 연구

윤해동, 조원희, 김재수
원광대학교 공과대학 건축음향연구실

An Experimental Study on the Acoustical Characteristics of Propagation of Passing Rail Noise at the Noise Barrier in Urban Area

Hae-Dong Yun, Won-Hee Cho, Jae-Soo Kim
Architectural Acoustic Research Laboratory, Wonkwang University

E-mail : archsun@chollian.net, soundpro@wonnms.wonkwang.ac.kr

1. 서론

도심에서 철도는 급격한 산업화와 도시의 인구집중으로 인해 철도변 주변에 많은 건물이 들어서게 되면서 주민들에게 심각한 소음공해를 유발하고 있다.

특히, 도시를 통과하는 철도변의 경우 아주 근접한 거리에 주거시설이 들어서고 있으며, 이로인한 주민들의 불만족 지적률은 날로 높아지고 있는 실정이다. 따라서 이러한 철도소음을 방지하기 위한 대책으로 현재 방음벽을 설치하고 있으나, 아직까지 방음벽에 의한 소음감쇠효과 및 효율적인 방음벽 설치에 관한 연구가 미비한 실정이어서 효율적인 대책 수립이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 호남선에서 가장 많이 운행되고 있는 새마을호와 무궁화호 열차를 연구대상으로 하여 방음벽 통과시 철도소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하고자 하였으며, 이를 토대로 향후 철도소음에 관한 효율적인 차음대책 수립시 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

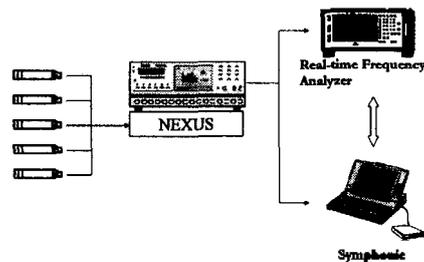
II. 연구내용 및 방법

철도소음의 전달 및 감쇠특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 소음공정시험방법(환경부고시 제1995-10호)에 준하여 측정하였다.

측정 방법은 <그림 1>과 같이 마이크로폰에서 들어오는 신호를 NEXUS를 통해 DAT(Digital

Audio Tape Recorder)로 현장에서 동시에 녹음하였으며, 녹음된 신호를 실험실에서 Signal Analyzer와 주파수 분석기로 분석하였다.

본 연구에서 분석에 사용된 주파수 범위는 31.5Hz~8kHz까지 1/1 Octave Band 중심주파수 별로 30초간 측정·분석하였으며 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정·분석 하였다.



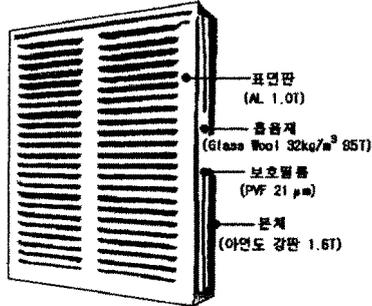
- Calibrator (B&K Type 4231)
- Microphone (B&K Type 4165)
- Microphone Preamplifier (B&K Type 2669)
- Nexus (B&K Type 2690)
- DAT (Sony Pc216Ax)
- Sound Analysis System(Symphonie)
- Real-time Frequency Analyzer (B&K Type 2144)
- Notebook Computer

<그림 1> 철도소음 측정을 위한 기기 구성도

측정대상 열차의 종류에 따른 통과속도와 객차수등의 제원은 <표 1>과 같으며, 본 연구에서 실험한 방음벽의 제원 및 구성은 <그림 2>와 같다.

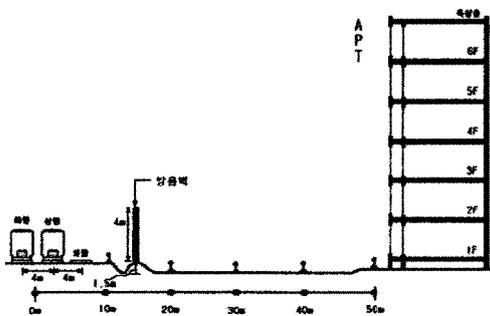
〈표 1〉 측정대상 열차 차량

구분	통과속도(km/h)		축하중(ton)	Sample
	상행	하행		
세마을 8량	60~65	85~90	12.49	10
무궁화 8량	58~62	83~87	11.79~12.78	10

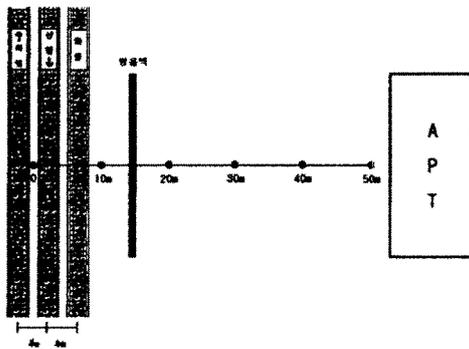


〈그림 2〉 측정대상 방음벽의 지면 및 구성

또한, 본 연구의 측정지점은 〈그림 3〉과 같으며, 상·하행 철도선로의 중심선을 기준으로 10m지점은 방음벽 안쪽의 철도변이고 10m이상의 지점은 방음벽이 설치된 바깥부분이며, 방음벽의 길이는 약 100m이다



(a) 측정지점 단면도



(b) 측정지점 평면도

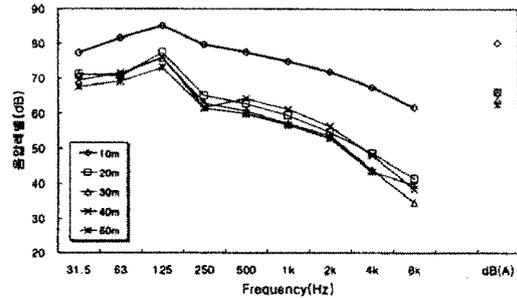
〈그림 3〉 철도소음 측정지점

III. 분석 및 고찰

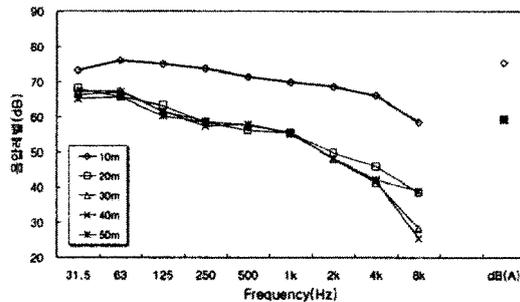
3.1 각 열차의 주파수별 소음특성

(1) 세마을 8량

세마을호는 8량을 기준으로 하여 각 거리에 따른 주파수 특성을 파악해 본 결과는 〈그림 4〉와 같다.



(a) 상행



(b) 하행

〈그림 4〉 세마을 8량의 각 거리별 주파수 특성

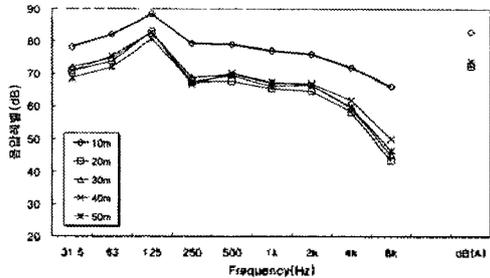
〈그림 4〉에서 보면 방음벽 안쪽인 10m지점의 경우 매우 높은 주파수 특성을 보이고 있으나, 방음벽이 설치된 바깥쪽 부분인 20m에서는 급격히 감소하여 방음벽으로 인한 철도소음의 차폐효과가 매우 뛰어나음을 알 수 있다. 또한 상행의 경우는 20m~50m로 멀어질수록 약 2dB(A)~4dB(A)정도 감소하는 특성을 보이고 있지만 하행의 경우는 거의 감소되지 않음을 알 수 있다.

peak주파수 대역은 상행의 경우는 방음벽 전후 모두 125Hz이며¹⁾, 하행의 경우는 방음벽 앞은 63Hz이지만 방음벽 바로 후면인 20m지점에서는 31.5Hz이고 나머지는 모두 63Hz로 나타나 방음벽으로 인해 peak주파수 대역이 일부 변화하고 있음을 알 수 있다.

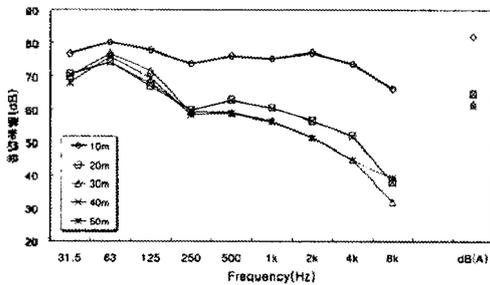
1) 윤해동 외 3인: "철도소음의 전달 및 감쇠특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 제 18권 2호, 1998.10, pp 955~960. 위의 연구결과에 의하면 개활지를 통과하는 열차(약 120km/h)의 peak주파수 대역은 모두 125Hz로 나타나고 있다.

(2) 무궁화 일반 8량

무궁화호는 일반 8량을 기준으로 하여 각 거리별 주파수 특성을 파악해 본 결과는 (그림 5)와 같다.



(a) 상행



(b) 하행

(그림 5) 무궁화 8량의 각 거리별 주파수 특성

(그림 5)에서 보면 무궁화호는 상행이 하행보다 더 높은 주파수 특성을 보이고 있으며, 거리에 따른 열차소음 감소폭은 상행보다는 하행이 크게 나타나고 있다.

또한, 하행의 경우는 상행에 비해 저주파수 대역보다는 고주파수 대역에서 감소폭이 매우 크게 나타나고 있어 새마을호와는 약간 다른 감소패턴을 보이고 있다. peak주파수 대역은 상행의 경우는 방음벽 전후 모두 125Hz이며, 하행의 경우는 63Hz로 나타나고 있어서 방음벽으로 인해 peak주파수 대역이 변화하고 있음을 알 수 있다.

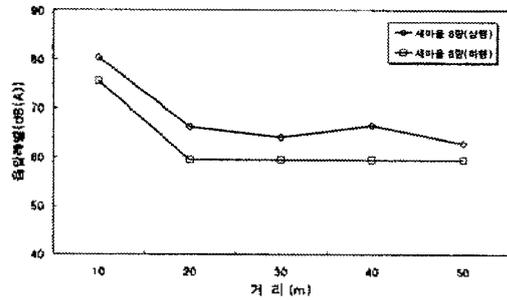
위의 결과로 보면, 새마을호 무궁화호 모두 상행이 하행에 비해 음압레벨이 높게 나타나고 있는데 이러한 이유는 상행의 경우 인접역을 출발하여 서서히 가속을 하는 구간으로서 가속 엔진음의 영향을 많이 받고 있지만, 하행의 경우는 인접역으로 진입하는 구간으로서 감속하고 있는 관계로 엔진음의 영향을 덜 받고 있기 때문으로 생각된다. 또한 측정지점은 고정되어 있지만 상행 철로가 하행 철로에 비해 4m정도 가깝기 때문에 음압레벨이 높게 나타나고 있는 것으로 사료된다.

3.2 방음벽 삽입에 따른 감소특성

(1) 실측에 의한 감소량

① 새마을호

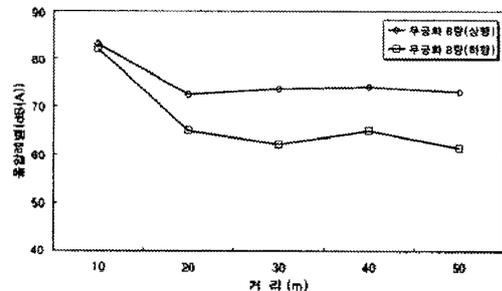
(그림 6)에서 보면 상·하행 모두 10m지점에서는 아주 높은 음압레벨을 보이다가 20m지점에서는 방음벽의 차폐효과로 인해 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 방음벽 후면인 20m~50m지점에서 음압레벨의 평균값은 상행의 경우 64.81dB(A), 하행의 경우 59.39dB(A)로 나타나 상행이 하행보다 약 4~5dB(A)정도 높게 나타나고 있으며, 표준편차는 상행의 경우 1.75dB(A), 하행의 경우 0.03dB(A)로 나타나 방음벽 후면에서는 거리에 따른 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.



(그림 6) 새마을 8량의 거리별 음압레벨 비교

② 무궁화호

무궁화호의 경우도 상·하행 모두 10m지점에서는 아주 높은 음압레벨을 보이다가 20m지점에서는 급격히 감소하고 있어서 새마을호와 비슷한 패턴을 보여주고 있다. 또한 방음벽 후면인 20m~50m지점에서 음압레벨의 평균값은 상행의 경우 73.17dB(A), 하행의 경우 63.22dB(A)로 나타나 상행이 하행보다 약 9~10dB(A)정도 높게 나타나고 있으며, 표준편차는 상행의 경우 0.70dB(A), 하행의 경우 1.89dB(A)로 나타나 방음벽 후면에서는 거리에 따른 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

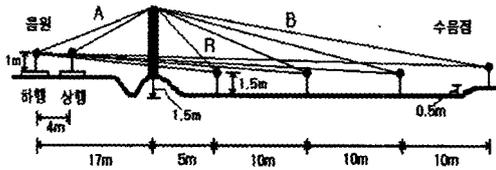


(그림 7) 무궁화 8량의 거리별 음압레벨 비교

(2) 예측식에 의한 감소량

운행인 철로와 수용점 사이에 방음벽 통과 같은 방해물이 있을 경우 소음원으로부터 발생한 소음은

장애물의 상단을 회절하여 수용점에 도달하는 회절 경로와 장애물 자체를 통과하여 전달되는 투과경로, 장애물의 반사경로등 몇가지의 경로로 구분할수 있다. 그러나 일반적으로 방음벽의 효과는 주로 음의 회절에 의하여 얻어진다. 실제 회절각의 계산에는 회절각 대신 경로차를 이용하여 계산하는데 경로차(δ)는 음이 직접 전달될때와 회절되어 전달될때의 전파경로 차이로 정의된다.



경로차(δ)는 $A + B - R$ 에 의하여 구하며, 그 결과는 다음과 같다.

거리	상행	하행
20m	1.74m	1.67m
30m	0.87m	0.79m
40m	0.66m	0.58m
50m	0.47m	0.39m

회절감쇠에 의한 벽의 삽입손실의 크기는 경로차 뿐만 아니라 음의 주파수(파장)와 밀접한 관계가 있는데, 실제 벽의 삽입 손실은 경로차와 음의 파장을 고려한 Fresnel Number(N)로 구하며 다음 식과 같이 정의 된다.

$$N = \frac{\delta}{\lambda/2} = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{\delta \cdot f}{170}$$

δ : 경로차, f : 주파수, λ : 음의 파장(= $c/f = 340/f$)

그리고 회절감쇠량(IL), 즉 벽의 삽입손실은 다음 식으로 구한다.

$$N < -0.2 \text{ 이면 } IL = 0$$

$$-0.2 \leq N \leq 5.03 \text{ 이면 } IL = 20 \log \left(\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{\pi N}} \right) + 5$$

$$N > 5.03 \text{ 이면 } IL = 20$$

또한, 투과손실을 고려한 회절감쇠량(L_1)은 다음과 같은 식으로 구한다.

$$L_1 = -10 \log \left(10^{\frac{-\delta D}{10}} + 10^{\frac{-TL}{10}} \right)$$

δD : 회절감쇠치(IL)

TL: 투과손실²⁾

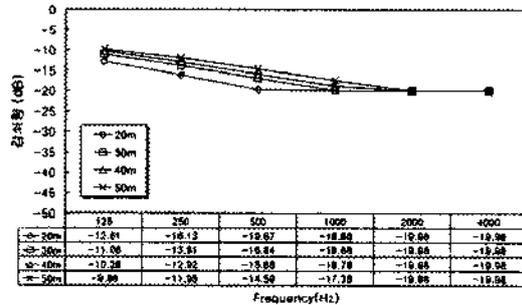
방음벽을 통한 소음감쇠효과를 분류해보면 <표 2>와 같다.

<표 2> 방음벽을 통한 소음감쇠비교³⁾

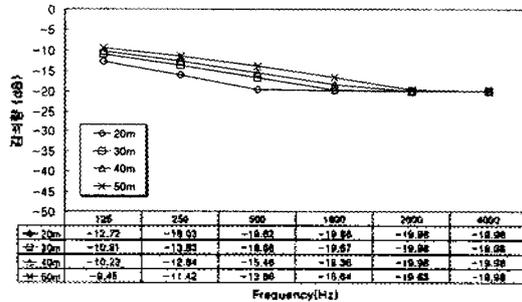
방음벽 소음감쇠치	실현가능정도	음향에너지의 감쇠
5 dB	간단함	60%
10 dB	주의필요	90%
15 dB	대단히 어려움	97%
20 dB	거의 불가능	99%

<표 2>에서 보면 소음레벨을 10dB감소시키기 위해서는 음향에너지의 90%를 제거해야 한다는 것을 의미하며, 방음벽을 설치함으로써 20dB의 소음레벨을 감소시킨다는 것은 음향에너지의 99%를 제거해야 한다는 것을 의미하는 것으로서 실현가능성은 거의 불가능하다.

따라서, 본 연구에서 측정한 대상지역을 상행과 하행으로 구분하여 회절감쇠량(IL)과 투과손실을 고려한 회절감쇠량(L_1)을 구하여 보면 <그림 8>과 같다.



(a) 상행



(b) 하행

<그림 8> 이륜차에 의한 회절감쇠량

<그림 8>에서 보면 소음레벨의 감소정도가 저주파수 대역보다는 고주파수 대역에서 높게 나타나고 있으며 거리가 멀어질수록 감소량이 적어짐을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 예측한 소음레벨 감소정도를 <표 2>와 비교해보면 상·하행 모두 고주파수로 갈수록 약 20dB에 가까운 소음감쇠 효과를 보여 방음벽의 설치시 고주파수 대역에서 효과가 큼을 알 수 있으며, 이러한 결과들은 실측에 의한 결과와 유사

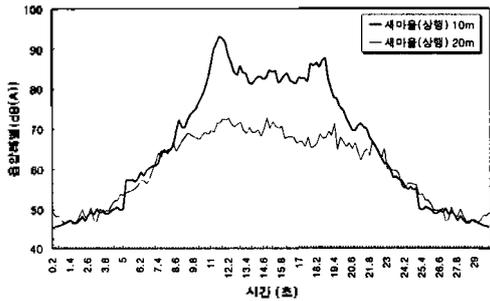
2) 방음벽의 투과손실 : 한국표준과학연구소 Data(95T×2m²)

3) 소음진동파람: 한국소음진동공학회, p 148

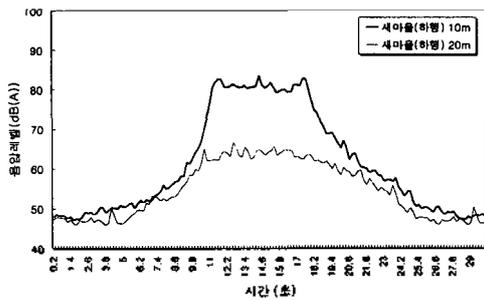
한 패턴을 보이고 있다.

3.3 음압레벨 변화특성

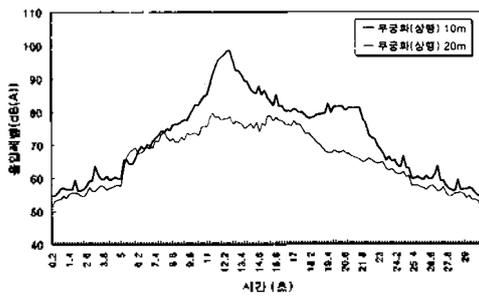
시간에 따른 열차의 음압레벨의 변화를 파악하기 위하여, 방음벽을 기준으로 방음벽 안쪽인 10m지점과 방음벽 바깥쪽인 20m지점을 기준으로 시간대별 음압레벨의 변화를 측정하여 보았으며 그 결과는 다음과 같다.



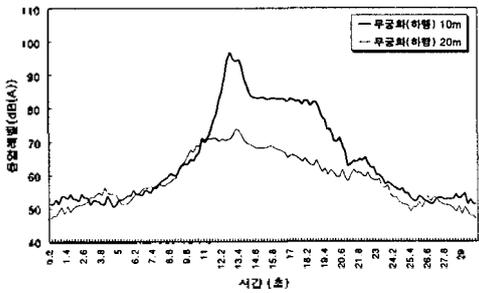
(a) 새마을 8량(상행)



(b) 새마을 8량(하행)



(c) 무궁화 8량(상행)



(d) 무궁화 8량(하행)

〈그림 9〉 각 열차별 시간에 따른 음압레벨의 변화

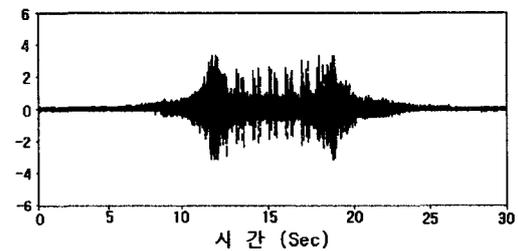
그림에서 보면 10m지점에 비해 방음벽 후면인 20m지점에서의 음압레벨의 변화가 낮게 나타남을 알 수 있다. 특히, 20m지점에서는 10m지점과는 상이한 음압레벨 변화패턴을 보이고 있는데, peak치의 음압레벨이 두드러지게 나타나고 있지 않으며, 그 변화폭도 매우 적게 나타나고 있다.

또한, 열차속도가 높은 하행의 경우는 개활지나 성토지에서 측정된 기존패턴과 비슷하게 나타나고 있으나, 가속단계에 있는 상행의 경우는 가속엔진의 영향으로 peak시간대의 음압레벨이 매우 높게 나타나고 있으며 지속시간도 하행에 비해 약 2초 정도 길고, 변화패턴도 기존자료와는 달리 약간 불규칙하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

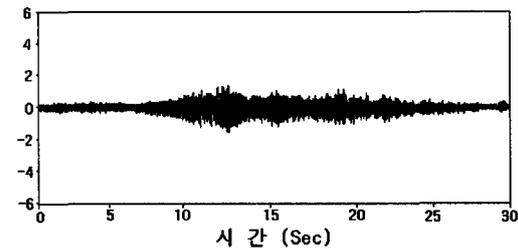
결국 방음벽을 설치함으로써 인근주민에게 가장 영향을 미치는 peak음압레벨을 상당히 저감시키고 있음을 알 수 있다.

3.4 시간응답(Time Response)의 변화특성

시간응답의 변화를 알아보기 위하여 열차통과시 방음벽 전후에서 발생하는 음압에너지의 변화특성을 파악해 보았다.

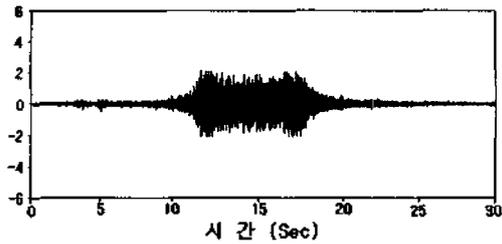


(a) 10m지점에서 새마을 8량의 시간응답(상행)

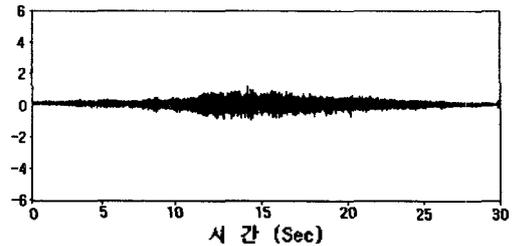


(b) 20m지점에서 새마을 8량의 시간응답(상행)

- 4) 윤해동 외 2인: "성토지역을 통과하는 열차소음의 전달 및 감소특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제 19권 1호, 1999.4, pp. 497~502



(c) 10m지점에서 새마을 8량의 시간응답(하행)



(d) 20m지점에서 무궁화 8량의 시간응답(하행)

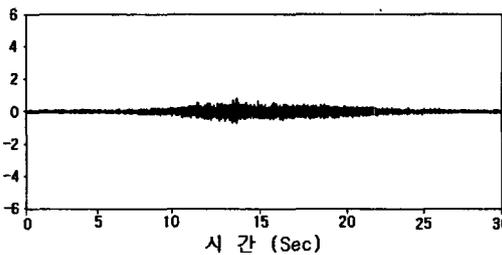
(그림 11) 무궁화호의 시간응답(Time Response)

〈그림 10〉에서 보면 새마을호 10m지점의 경우 약 7~8초간 peak치의 응답레벨을 유지한후 다시 감소하는 특성을 보이고 있으나, 20m지점의 경우는 peak치의 특성이 매우 작게 나타나고 있다.

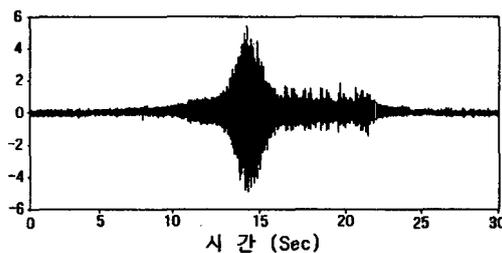
또한 〈그림 11〉에서 보면 무궁화호 10m지점의 경우 열차가 진입하는 순간 급격한 에너지 집중으로 인하여 매우 높은 응답레벨을 보이다가 다시 급격히 감소하는 특성을 보이고 있으나, 20m지점의 경우는 10m지점에 비해 그 변화폭이 적게 나타나고 있어서 방음벽의 설치로 인한 열차소음의 저감 효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

IV. 요약 및 제언

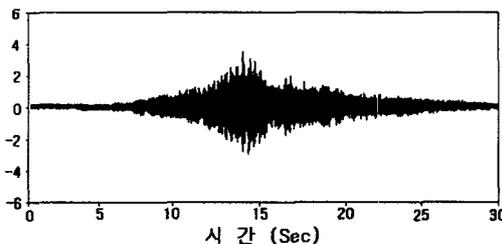
본 연구를 통하여 얻은 결과를 종합하여 보면 다음과 같다.



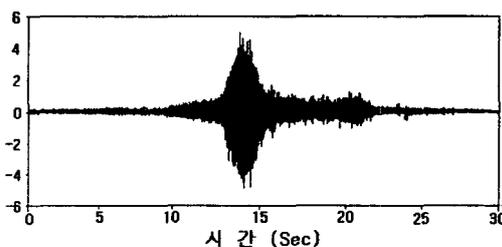
(d) 20m지점에서 새마을 8량의 시간응답(하행)
(그림 10) 새마을호의 시간응답(Time Response)



(a) 10m지점에서 무궁화 8량의 시간응답(상행)



(b) 20m지점에서 무궁화 8량의 시간응답(상행)



(c) 10m지점에서 무궁화 8량의 시간응답(하행)

1. 방음벽 안쪽의 경우 주파수별로 매우 높은 응답레벨을 유지하고 있으나, 방음벽 바깥쪽 부분에서는 응답레벨이 급격히 감소하는 특성을 보이며, 특히 고주파수에서는 감소효과가 매우 큼을 알 수 있다. 따라서 방음벽으로 인한 철도소음의 차폐효과가 매우 뛰어남을 알 수 있다.
2. 가속구간인 상행의 경우 엔진음의 영향을 강하게 받는 125Hz대역에서 가장 높은 주파수 특성을 보이고 있으나, 감속구간인 하행의 경우 63Hz대역에서 가장 높은 주파수 특성을 보이고 있어서 가속엔진음의 영향에 따라서 peak주파수 대역이 일부 변화하고 있음을 알 수 있다.
3. 방음벽 후면인 20m~50m지점에서 응답레벨의 평균값은 상행이 하행보다 높게 나타나고 있어 가속구간인 상행이 주민들에게 더 많은 영향을 미칠것으로 사료된다.
4. 예측식에 의해서 구해진 투과손실을 고려한 회절감쇠량을 살펴보면 거리가 멀어질수록 감소량이 적게 나타나고 있으며, 저주파수 대역보다는

고주파수 대역에서 감소량이 크게 나타나고 있는데 이러한 결과는 실측치에서도 유사한 패턴을 보이고 있다.

5. 시간에 따른 음압레벨의 변화특성과 시간응답곡선을 보면, 가속엔진음의 영향을 받는 상행은 하행에 비해서 peak시간대의 지속시간이 약 2초 정도 길게 나타나고 있으며, 방음벽 바깥쪽 부분의 경우 방음벽 안쪽과 비교했을 때 peak레벨의 특성이 매우 적게 나타나고 있어서 방음벽을 설치함으로써 인근주민에게 영향을 미치는 peak시간대의 음압레벨을 상당히 저감시키고 있다.

본 연구는 도심지를 통과하는 철도선로 구간중 방음벽의 설치로 인한 철도소음의 감소정도를 파악하기 위하여, 인접역에서 약 3km떨어진 지점에서 측정하였으며, 이를 바탕으로 향후 철도선로변에 위치하고 있는 공동주택의 총별소음 및 24시간 소음변화패턴을 파악하여 철도소음을 방지하기 위한 보다 구체적이고 실질적인 대책이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 윤해동 외 3인: "철도소음의 전달 및 감소특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 18권 2호, 1998.10, pp 955~960
2. 윤해동 외 2인: "도심에서 발생하는 철도소음의 주관적 반응평가에 관한 연구", 한국음향학회지 18권 1호, 1999.1, pp 32~37
3. 윤해동 외 2인: "성도지역을 통과하는 열차소음의 전달 및 감소특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 19권 1호, 1999.4, pp 497~502
4. 申永周: "철도소음 실태조사 및 소음환경기준 설정에 관한연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1985.12
5. 朴 來: "철도소음 대책에 관한연구", 경희대학교 행정대학원 석사학위논문, 1989.2
6. 金鐘遠: "철도연변에 있어서 열차소음의 문제점과 대책에 관한연구", 영남대학교 환경대학원 석사학위논문, 1992.2
7. 李聖雨: "철도소음의 실태와 방음벽 및 2중창의 효과", 인하대학교 대학원 석사학위논문, 1988.8
8. 趙誠浩: "철도차량의 옥외소음 전파현상에 관한 연구", 홍익대학교 대학원 석사학위논문, 1996.12
9. 官本俊光: "新幹線騒音について", 交通技術 S, 48.4
10. 西宮元: 航空機騒音の計測と評價, 日本音響誌,

1981

11. Willson: Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, 1982
12. Paul. N. Chere Misinoff and Peter. P. Chere Misinoff: Industrial Noise Control Handbook, Ann Arbor Science, 1981
13. Hassall. J. R & Zaver. K: Acoustic Noise Measurement, 1982
14. Department of Transportation: "A Study of the Magnitude of Transportation Noise Generation and potential Abatement"

<http://sound.wonkwang.ac.kr>